

УДК 612.766:621.398*Д. Р. Матвієнко, студент групи ПГ-91мп, доц., к.т.н. Лакоза С.Л.*

КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОЗПІЗНАННЯ РУХІВ ЛЮДИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНЕРЦІАЛЬНИХ СИСТЕМ

Анотація: у роботі розглянуті основні підходи щодо розпізнання рухів людини, охарактеризовано метод нелінійних атракторів, описано методи класифікації циклічних людських рухів за допомогою нейронних мереж. Приведено метод, що дозволяє генерувати рухи людини з нелінійною динамікою та дозволяє більш глибоко аналізувати особливості руху. Більшість розглянутих підходів використовують дані з акселерометрів. Значно рідше застосовується повний набір даних, що надають системи захоплення руху.

Ключові слова: інерціальні датчики, атрактор, нейронна мережа, акселерометр.

ВСТУП

Аналіз рухів людини широко застосовується в медицині, спорті, кібернетиці. У сучасному світі з використанням концепцій Internet of Things стають доступні технології, що дозволяють використовувати методи аналізу рухів у повсякденному житті.

Існуючі системи захоплення і розпізнання руху людини розділяють на дві великі категорії: 1) системи, що використовують оптичні камери чи ультразвукові датчики із застосуванням спеціальних маркерів; 2) системи, що використовують різного роду датчики, що носяться на тілі. У першому випадку рухи розпізнаються за допомогою спеціальних камер та виконується побудова руху повної біомеханічної моделі руху людини. Проте такі системи мають значний недолік, що полягає в необхідності використання спеціального приміщення для зменшення похибок. Також є певні рухи та позиції, при яких дані системи не можуть виконати розпізнання руху.

Носимі системи другого виду будуються з використанням блоків на базі МЕМС-датчиків, таких як акселерометри та гіроскопи, які зчитують вимірюють дані про певні характеристики руху напряму. Такий підхід не вимагає спеціального приміщення для захоплення руху людини. Цей спосіб є дешевшим і простішим у повсякденному використанні.

У даній роботі розглядаються стан розвитку методів розпізнання рухів для носимих систем.

НОВІТНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ РУХІВ

У роботі [1] розроблено метод аналізу руху людини за допомогою періодичних атракторів (атрактор - множина точок у фазовому просторі, до якої збігаються фазові траєкторії дисипативної системи). Даний метод полягає у зборі даних про рух людини за допомогою інерціальних датчиків (3-вісного акселерометра та гіроскопів, що вимірюють прискорення та кутову швидкість), на основі яких виокремлюються періодичні сигнали в розглядуваних рухах та будуються замкнуті криві, пов'язані з конкретним сегментом кінематичної моделі тіла. На основі отриманих даних формуються періодичні атрактори для кожного з рухів та виконується проектування у фазовий простір.

Для сегментації використовуються шаблони періодичних сигналів, що витягувались із спостережуваних даних про один тип руху. Автори виконували

поділ даних руху на сегменти, ґрунтуючись на подібності певних частин руху, з подальшим діленням на кластери. Для кластерів автори використовували порогову кластеризацію якості QTC (запропоновано Хейером в 1999р). Отримані дані перепроєктовували у простір станів, де сегментовний рух змалював замкнуті криві. У роботі продемонстровано класифіковані характерні рухи людини на основі атракторів.

У роботі [2] розглянуто розпізнавання жестів, які виконувалися жезлом в руці людини. Автори виконували аналіз даних з інерціального модуля (однокристальний IMU 9255, мікроконтролер STM32F051x, wi-fi-модуль ESP8266, сенсорний екран). Для розпізнавання жестів використовувалася рекуррентна нейронна мережі з довгою короткостроковою пам'яттю (Long short-term memory). Оптимізація структури мережі виконувалася за допомогою одного з алгоритмів стохастичного градієнтного спуску — алгоритму ADAM. Мережа навчалася на 70% від зібраних даних, інші 30% використовувалися для валідації [2].

Навчальна вибірка для навчання нейронної мережі представляла сукупність потоків даних, кожен із яких містить серію жестів, виконаних одним користувачем. Для навчання та класифікації неперервний потік даних розбивається на перекриваючі ділянки фіксованої довжини з постійною відстанню між ними. До особливостей обробки результатів відноситься те, що алгоритм розбиває отриманий файл з серією жестів на окремі фрейми за спеціальним алгоритмом, що додатково класифікує жест, як правильний чи ні. Ступінь відхилення від правильності враховувався при обчисленні матриці неточностей. У роботі приведено приклади матриць неточностей для навчальної і валідаційної вибірки, представлено розроблену метрику. Автори роботи стверджують про високу ефективність алгоритму класифікації. У роботі також наведено розрахунки продовжуваності кожного класу жестів з імовірністю у відсотках. Проте даний результат отриманий лише для обмеженої кількості користувачів, тобто потребує навчання та вдосконалення на різних групах користувачів.

У роботі [3] досліджувалося розпізнавання активності користувачів на основі даних акселерометра. Для цього використовувався один трьохвісний акселерометром CDXL04M3 (здатний вимірювати прискорення до 4G з допуском в межах 2%), прикріплений до зап'ястя руки. Автори ставили перед собою задачі: 1) визначення кращих класифікаторів виду діяльності; 2) характеристика інформативності певних ознак/атрибутів; 3) окреслення видів діяльності, які важче розпізнати. Були проаналізовані дані наступних видів рухової активності: стояння, ходьба, біг, підйом по сходах, спуск зі сходів, присідання, прибирання з пилососом, чистка зубів.

Для досліджуваних вибірок були розраховані середнє значення, стандартне відхилення, енергія, коефіцієнти кореляції. Розрахунки виконувалися для з кожної з трьох осей акселерометра. Оцінка ефективності класифікаторів базового рівня проводилася за допомогою інструментів Weka з оцінкою продуктивності по метарівню. Буда проведена 10-кратна перехресна перевірка

для кожного з класифікаторів з усереднюванням результатів, при наступних налаштуваннях: 1) **Н1**: дані з одного виду рухової активності протягом різних днів змішані разом і схрещені; 2) **Н2**: дані з різних видів рухової активності в різні дні; 3) **Н3**: дані з одного виду рухової активності в один день; 4) **Н4**: дані з декількох видів рухової активності протягом одного дня. Проаналізовані дані представлено у вигляді таблиць. Система інколи не розуміла і плутала такі рухи, як чистка зубів, прибирання пилососом і підйом/спуск зі сходів.

У роботі [4] автори розробляли і оцінювали продуктивність алгоритмів розпізнавання рухової активності в повсякденних умовах. Розпізнавання діяльності виконувалося на даних про прискорення, зібраних з п'яти двохвісних акселерометрів (ADXL210E розміщених: на правому стегні; на домінуючому зап'ясті; на домінуючій руці; на домінуючій щиколотці; на не домінуючому стегні). Виконувалося розпізнавання не рухомих положень та діяльності об'єктів дослідження. Було виконано дослідження на 20 користувачах у лабораторних та напівнатуральних умовах. Для напівнатурального збору даних користувачі проходили смугу перешкод, що складається з низки заходів, таких як біг чи прийом їжі. Характеристики рухової активності розраховані на 512 вибірових вікнах даних прискорення, з яких 256 перекриваються між послідовними вікнами. У роботі розроблено деревовидний алгоритм прийняття рішень, який міг розрізняти різні задачі з точністю у 80%. Автори показали, що прискорення можна використовувати для розпізнавання рухів у різних побутових справах. Недоліком запропонованого алгоритму є повільна швидкість навчання.

У роботі [5] запропонована система обробки інформації на основі рівнянь динаміки для управління рухом тіла робота-гуманоїда (робот має 20 ступенів свободи). Запропоновано метод розрахунку нелінійної динаміки, що використовує атрактори для двовимірних замкнутих кривих з поліноміальною конфігурацією. Система запам'ятовувала нелінійну динаміку, генерувала і транслувала людські рухи тілу робота, базуючись на захоплених рухах і подальшого їх визначення за допомогою поліноміального подання. Запропонований метод визначається, як векторне поле в N-вимірному просторі і має атрактор для будь-якої замкнутої кривої лінії. Для руху робота автори проектували нелінійну динаміку атрактора у вигляді букви «V». На основі запропонованого підходу згенерований рух тіла гуманоїда (FUJITSU Humanoid HOAP-1) типу «ходьба» і типу «рух навпочіпки».

У роботі [6] розглянуто методологію виокремлення та класифікації стилю характерної складової руху під час ходьби. Рух вимірюється за допомогою чотирьох акселерометрів (WAA-010 фірми ATR-Promotions Inc.), що розташовані на визначених частинах тіла: правій гомілці, лівому стегні, нижній частині спини та лівому передпліччі. Для оцінювання характерної складової руху використовувалася оцінка класу руху за показами кожного з датчиків та виконувалося оцінювання внеску кожного датчика для ідентифікації ходи за допомогою ступеня розділеності класу. Для оцінки різниці у рухах між користувачами використовували сингулярний розклад даних акселерометра,

включаючи приблизно 20 циклічних вибірок для кожного об'єкта дослідження. Для виокремлення ознак ходи людини використовувався сингулярний розклад вимірюваних даних та інтерполяція кубічними сплайнами.

ВИСНОВОК

Напрямок аналізу та розпізнання рухів людини на основі даних носимих систем активно розвивається. Сучасні методи розпізнання рухів активно використовують сегментацію рухів людини з використанням нелінійних атракторів. Це дозволяє переводити часові вибірки у циклічні фігури у просторі станів, які використовують для класифікації рухів. Класифікація виду рухової активності в більшості випадків виконується із застосуванням нейронних мереж різного роду. Необхідно відмітити, що більшість робіт використовують в основному дані з акселерометрів, інколи долучають вибірки даних з гіроскопів. Це можна пояснити складністю багатовекторної класифікації і збільшенням порядку складності при залученні нових даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

- [1] Akiduki, T., Zhang, Z., Imamura, T., & Miyake, T. (2011). Human Motion Analysis from Inertial Sensor Data Based on Nonlinear Dynamics. *IFAC Proceedings Volumes*, 44(1), 7396-7401.
- [2] Хельвас, А. В., Беляйкина, Н. Г., Гиля-Зетинов, А. А., Черникова, Д. Д., Шабунин, В. М., & Япрынецев, Е. О. (2017). Распознавание жестов с помощью нейронной сети и применение этого подхода для создания игровых гаджетов нового поколения. *Труды Московского физико-технического института*, 9(2 (34)).
- [3] Okada, M., & Nakamura, Y. (2004, April). Design of the continuous symbol space for the intelligent robots using the dynamics-based information processing. *In IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004. Proceedings. ICRA'04. 2004 (Vol. 4, pp. 3201-3206)*. IEEE.
- [4] Bao, L., & Intille, S. S. (2004, April). Activity recognition from user-annotated acceleration data. *In International conference on pervasive computing (pp. 1-17)*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [5] Okada, M., Tatani, K., & Nakamura, Y. (2002, May). Polynomial design of the nonlinear dynamics for the brain-like information processing of whole body motion. *In Proceedings 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No. 02CH37292) (Vol. 2, pp. 1410-1415)*. IEEE.
- [6] Akiduki, T., Kawamura, K., Zhang, Z., & Takahashi, H. (2018). Extraction and Classification of Human Gait Features from Acceleration Data. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 14(4), 1361-1370.